



Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda tibial tünel tespit seviyesinin tekrarlayıcı yüklenme testi sonuçlarına etkisi

The effect of the tibial tunnel fixation level on the results of cyclic loading in anterior cruciate ligament reconstruction

Ömer TAŞER,¹ Yavuz KOCABEY,² Mahmut Nedim DORAL,³ Mehmet DEMİRHAN,¹ Erdem Uğur IŞIKAN,⁴ John NYLAND,⁵ Sezgin SARBAN,⁴ Ergun BOZDAĞI,⁶ Emin SÜNBÜLOĞLU⁶

¹*İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı;* ²*Besni Devlet Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği;* ³*Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı;* ⁴*Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı;* ⁵*Louisville Üniversitesi Ortopedik Cerrahi, Spor Tıbbı Bölümü, Louisville, ABD;* ⁶*İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*

Amaç: Bu çalışmada, ön çapraz bağ (ÖÇB) rekonstrüksiyonunda yumuşak doku tendon greftinin, tibial tünelde yumuşak doku interferans vidası ile anatomik olmayan (eklemden uzak) ve anatomik (ekleme yakın) seviyede tespiti biyomekanik olarak karşılaştırıldı.

Çalışma planı: On iki adet dana tibiası ve dana ekstansör digitorum süperfisialis tendonu, yumuşak dokulardan temizlenerek altışarlı iki homojen gruba ayrıldı. Kırk beş dereceye ayarlanmış ÖÇB kılavuzu yardımıyla tibialara 7 mm çapında tüneller açıldı. Her bir tünel, genişleticilerin çapı 0.5 mm artırılarak 9 mm'ye kadar genişletildi. Tendonlar 9x30 mm'lik yumuşak doku interferans vidası ile tibial tünelde anatomik olmayan (grup I) ve anatomik (grup II) seviyede tespit edildi. Tüm örnekler, servo-hidrolik test cihazında önce 500 kez 50-250 N arasında değişen sinüzoidal kuvvetle 1 Hz frekansı ile tekrarlı yük verildi, sonra 20 mm/dk hızla en yüksek dayanma kuvveti (load to failure) belirlenmek üzere gerilme testi uygulandı. İstatistiksel analizler Mann-Whitney U-testi ile yapıldı.

Sonuçlar: Ortalama vida ilerleme torku I. ve II. gruplarda sırasıyla 8.2±2.4 Nm ve 7.8±2.3 Nm bulundu (p=0.88). Tekrarlayıcı yüklenme testi uygulandıktan sonra greftlerde ortalama yer değiştirme sırasıyla 1.9±0.75 mm ve 2.2±1.2 mm (p=0.63), sertlik (stiffness) ise sırasıyla 132.72±10.93 N/mm ve 125.14±15.93 N/mm (p=0.63) bulundu.

Çıkarımlar: Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda kullanılan yumuşak doku tendon greftinin tibial tünelde interferans vidası ile anatomik olmayan ve anatomik seviyede tespitinin biyomekanik olarak farklılık oluşturmadığı sonucuna varıldı.

Anahtar sözcükler: Emilebilir implant; ön çapraz bağ/cerrahi; biyomekanik; kemik yoğunluğu; kemik vidası; dana; tendon/transplantasyon; gerilme kuvveti; tibia/cerrahi; tork.

Objectives: This study was designed to compare the biomechanical characteristics of non-anatomic (far from joint) and anatomic (close to joint) levels of tibial tunnel fixation with soft tissue graft using a soft tissue interference screw in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction.

Methods: Twelve bovine tibiae and digital extensor tendons were divided into two homogeneously equal groups after removing soft tissues. Tibial tunnels were prepared with a 7-mm drill with the use of an ACL guide adjusted to 45°. Each tunnel was then dilated to 9 mm in 0.5 mm increments. Digital extensor tendons were fixed at non-anatomic (group I) or anatomic (group II) tibial tunnel levels with a soft tissue metal interference screw, 9x30 mm in size. All the specimens were cycled 500 times from 50 to 250 N with 1 Hz frequency in a servo-hydraulic testing machine followed by ultimate load at-failure testing at a rate of 20 mm/min. Statistical analyses were made using the Mann-Whitney U-test.

Results: The mean screw insertion torque values were 8.2±2.4 Nm and 7.8±2.3 Nm in groups I and II, respectively (p=0.88). The mean values of graft displacement (1.9±0.75 mm versus 2.2±1.2 mm, p=0.63) and stiffness (132.72±10.93 N/mm versus 125.14±15.93 N/mm, p=0.63) did not differ significantly, either.

Conclusion: The biomechanical properties of ACL reconstruction with soft tissue graft fixation using a soft tissue interference screw are not influenced by the level of tibial tunnel fixation.

Key words: Absorbable implants; anterior cruciate ligament/surgery; biomechanics; bone density; bone screws; cattle; tendons/transplantation; tensile strength; tibia/surgery; torque.

Akut ve kronik ön çapraz bağ (ÖÇB) yırtıklarında, bağın rekonstrüksiyonu kabul edilen tedavi yöntemidir. Bu ameliyat tipinde birçok greft tipi ve tespit yöntemi kullanılmaktadır. Son yıllarda yumuşak doku tendon greftinin kullanımı, verici saha morbiditesinin az olması,^[1] aşırı fonksiyonel yetersizliğe yol açmaması,^[2] greftin yeterli derecede kuvvetli olması ve biyomekanik fonksiyon yönünden ÖÇB'ye benzemesi nedeniyle artmıştır. Bununla birlikte, kemik blokları içermediğinden greftin kemiğe kaynaması için daha uzun bir süreye ihtiyaç duyulması^[3] ve tibial taraftaki tespitin daha zayıf olması, bu tip greftlerin dezavantajlarıdır. Bu sorunların üstesinden gelmek için birçok yöntem denenmiş olmakla birlikte, özellikle yumuşak doku tendon greftinin tespiti için görüş birliği yoktur.^[4-7]

Greftlerin tespit kuvveti üzerine en önemli etkiyi, bu bölgedeki kemik mineral yoğunluğu yapar. Weiler ve ark.^[8] bir hipotez olarak, tibial tünelin giriş bölümünün kortikal kemikten oluşması ve vidanın greft ile en sıkı temas eden bölümünün burası olması nedeniyle, bu bölüme yapılan anatomik olmayan tespitin daha büyük greft tespit kuvvetine sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Aynı yazarlar, ÖÇB rekonstrüksiyonu sonrasında dizin stabilitesinde, greft boyu kadar, greft tespit kuvvetinin de önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmada, yumuşak doku tendon greftlerinin tibial tünelde anatomik olmayan ve anatomik seviyede yumuşak doku interferans vidası ile tespitinin biyomekanik parametrelere olan etkisini karşılaştırmayı planladık. Biyomekanik parametreler olarak, vida ilerleme torku (vidanın tünel içinde ilerlediği andaki karşılaşmış olduğu kuvvet), sertlik (her iki tespit arasında bulunan serbest greftin uzunluğunun birim kuvvet uygulandığı uzunluğunda meydana gelen fark) ve en yüksek dayanma gücünü (uygulanan kuvvete karşı tespit bölgesinde oluşan dayanma kuvvetinin yok olduğu nokta) inceledik.

Gereç ve yöntem

Bu çalışmada 12 adet yeni kesilmiş dana dizi kullanıldı. Bütün tibia örnekleri bir yaşında sağlıklı hayvanlardan alındı ve plastik torbalara konularak bir saat içinde derin donduruculara yerleştirildi. Dana tibiaları, eşit sayıda olmak üzere iki gruba ayrıldı. Dondurulmuş örnekler çalışma yapılmadan 24 saat önce oda sıcaklığında (24 °C) çözülmeye bırakıldı. Tibialar, alındığı süreden itibaren bir hafta içe-

risinde kullanıldı. Yumuşak dokulardan temizlendikten sonra, her bir tibiyanın DEXA (dual energy X-ray absorptiometry) tarama sistemi ile (Hologic QDR-4500, Hologic Inc., Waltham, MA, ABD) kemik mineral yoğunluğu ölçüldü. Ölçümler süresince tibialar, içinde serum fizyolojik bulunan 15x25 cm'lik plastik kovalarda tutuldu. On iki adet dana ekstansör digitorum süperfisialis grefti (uzunluğu 70 mm, çapı 8 mm) yumuşak dokulardan temizlenerek 2 numara Ethibond (Ethicon Inc., Somerville, NJ, ABD) ile "interlocking whipstitch" yöntemiyle çift bacaklı (pediküllü) olarak hazırlandı (Şekil 1). Hazırlanma sırasında ve tespitten önce germek için greft masası kullanıldı. Greftte, yer değiştirme ve sertlik üzerine etkisini azaltmak için tespit öncesinde greft masasında 15 dakika süresince 3 kg'lık yük uygulandı. Daha sonra tibial tünel, tibial platoya 45 derecelik açıyla Howell ve ark.^[9] tarif ettiği şekilde 7 mm oyuncu ile hazırlanmış ve 7.5, 8, 8.5 ve 9 mm'lik genişleticilerle genişletildi.

Tibial tüneller hazırlandıktan sonra, yumuşak doku greftleri her bir tünel içine yerleştirildi. Takiben 9x30 mm'lik yumuşak doku interferans vidaları ile grup I'de anatomik olmayan (eklemden uzak) ve grup II'de anatomik (ekleme yakın) seviyede tespit yapıldı. Tork ölçer ile vida ilerleme torku ölçüldü (P3 Strain Indicator, 4 Channel, Vishay Measurements Group, ABD). Takiben, aynı uzunlukta kesilen dana tibiaları polyester çelik macun içerisine gömüldü ve tespit tablasına açılı bir mengeçle 45° açıyla konumlandırılarak, germe yükü doğrudan tibial tünele gelecek şekilde en kötü olgu senaryosu oluşturuldu (Şekil 2). Hazırlanmış örnekler özel tasarım ile imal edilmiş Servo-Hidrolik Üni-versal Test Makinesine (İTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü-2003, 200 psi) uygun şekilde yerleştirildi. Örnekler bu pozisyonda germe işlemine hazırlandı. Kemiğe sabitlenmiş greftler, serbest uç-



Şekil 1. 2 numara Ethibond ile "interlocking whipstitch" yöntemiyle hazırlanan çift bacaklı inek ekstansör digitorum süperfisialis tendonu.

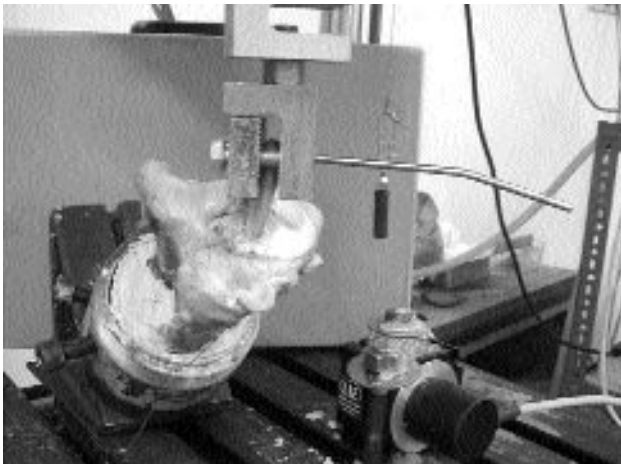
larının iki bacağı arasından çelik iğne geçirilerek servo-hidrolik test makinesine sabitleştirilmiş yük hücrelerine (ESIT, SPA 300 kg, S/N 223) bağlandı. Test makinesi ile greftlere 500 defa, 50-250 Newton (N) arasında değişen sinüzoidal kuvvetle, 1 Hz frekansı ile tekrarlı yük verilerek dinamik zorlanma uygulandı.

Her bir örneğe statik olarak ve sıfır N'den başlanarak, hasar gerçekleşene kadar 20 mm/dk hızla gerilme testi uygulandı. Bu işlemler sırasında eşzamanlı ve dinamik olarak greftin boy değişimleri "potansiyometrik displacement transducere" (Micro-Epsilon WDS 300 P60 CR P, S/N 4600) yardımıyla alınarak bilgisayara aktarıldı. Veriler saniyede 100 Hz ile "ESAM Traveller" veri toplama sistemi (ESA Messtechnik, GmbH, Olching, Almanya; Type 1032-S, S/N 0060502) ile doğrudan bilgisayara kaydedildi.

İstatistiksel analizler Mann-Whitney U-testiyle, SPSS for Windows version 11.0 uygulama programı kullanılarak yapıldı; $p < 0.05$ değerleri anlamlı olarak kabul edildi.

Sonuçlar

Her iki grubun ortalama kemik mineral yoğunlukları birbirine benzerdi (grup I 0.898 ± 0.22 g/cm², grup II 0.910 ± 0.32 gr/cm², $p=0.96$). Vida ilerleme torku grup I'de 8.2 ± 2.4 Nm, grup II'de 7.8 ± 2.3 Nm idi ve arada anlamlı fark yoktu ($p=0.88$). Bütün örnekler tekrarlayıcı yüklenme testini hasarlanmadan tamamladılar. Bu test sonunda ortalama yer değiştirme grup I'de 1.9 ± 0.75 mm, grup II'de 2.2 ± 1.2 mm bulundu. Gruplar arasında yer değiştirme yönünden



Şekil 2. Servohidrolik test sistemi.

Tablo 1. En yüksek dayanma kuvveti (load to failure) değerleri (N)

Örnekler	Grup I	Grup II
1	450	685
2	725	850
3	645	715
4	375	320
5	790	610
6	740	695

fark anlamlı bulunmadı ($p=0.63$). Sertlik yönünden de gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı (grup I 132.72 ± 10.93 N/mm, grup II 125.14 ± 15.93 N/mm; $p=0.63$). Grup I'den iki greft (450 N ve 375 N), grup II'den ise bir greft (320 N) vidayı tünel içinde terk ederek en yüksek dayanma kuvvetine ulaştılar. Geri kalan tüm örnekler ise, vidanın grefti kesmesi ile en yüksek dayanma kuvvetine ulaştılar. Selby ve ark.^[10] tekrarlı yüklenme testi süresince, greftin vidayı tünelde bırakarak tüneli terk etmesini gerçek tespit kuvveti yetersizliği olarak belirtmişlerdir. Bu nedenle, gerçek greft-vida-tünel kompleks tespit kuvveti ölçülemedi. Örneklerin en yüksek dayanma kuvveti Tablo 1'de gösterildi.

Tartışma

Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda greft tespit kuvveti artırılarak ve seçilen greftin biyomekanik özelliklerinden yararlanılarak diz stabilitesi artırılabilir. Nyland ve ark.^[11] sentetik kemik kullanarak yapmış oldukları bir çalışmada, kemik mineral yoğunluğu, vida ilerleme torku ve greft tespit kuvvetleri arasında pozitif bir korelasyon olduğunu; ayrıca, kemik mineral yoğunluğunun tibial tünel tespit kuvvetini önemli oranda artırdığını saptamışlardır. Benzer olarak, vida geometrisi de greft tespit kuvveti üzerine etki eder. Weiler ve ark.^[12] vidanın çapı ve boyu artırıldığında vida-greft temas alanının arttığını, bunun da vida tespit kuvvetini artırdığını saptamışlardır. Aynı çalışmada, vida boyu uzunluğunun greft tespit kuvveti üzerine vida çapından daha fazla etkisi olduğu; bu nedenle, tespitite emilebilir vida kullanılacak ise uzun vida kullanılması gerektiği bildirilmiştir. Fineberg ve ark.^[13] da vida-greft arasında 15 dereceden büyük açılanmanın tespit kuvvetini önemli derecede azalttığını, greft tespitlerinde greft ile vidanın birbirine paralel olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Greft tespit kuvvetini etkileyen bir diğer değişken de tibial tünelde vidanın tespit seviyesidir. Vida tünel boyu kadar uzun olamayacağı için, tüneli tamamen kapsayamaz ve tespit sırasında vida tünelin herhangi bir seviyesinde kalabilir. Selby ve ark.^[10] daha kuvvetli bir tespit için vidanın kortikal kemikle temas halinde olması gerektiğini bildirmişlerdir. Halbuki, anatomik tespit, greft vidanın gövdesi ile sıkıştırılır ve bu bölgede tibianın kansellöz kemiği bulunur. Ishibashi ve ark.^[14] da tibial tarafta greft tespit seviyesinin diz kinematığı üzerine büyük etkisi olduğunu ve anatomik tespit ile daha stabil bir diz elde edildiğini bildirmişlerdir. Anatomik olmayan tünel tespitlerinde ise “araba sileceği etkisi”nin (windshield wiper effect) arttığı, bunun da tünel genişlemesine ve kemik-greft kaynamasında gecikmeye neden olduğu belirtilmiştir.^[14,15]

Ön çapraz bağ rekonstrüksiyonlarında greft ve tespit kompleksinin sertliği diz stabilitesini gösterir. Greft boyu sertlik üzerine etkilidir. Tibial ve femoral tünelde tespit edildikten sonra kalan greft boyu ne kadar büyük olursa, sertlik o kadar düşük olur. Magen ve ark.^[5] greft boyu ve tespit kompleksinin sertlik üzerine etkili olduğunu ve greft-vida-tibial tünel tespit sertliğinin greft sertliğine göre daha fazla katkıda bulunduğunu; bu nedenle de, tespit kuvvetini artıracak tespit seviyesinin sertliği daha çok artıracığını, böylece, daha stabil diz elde edileceğini bildirmişlerdir.

Phillips ve ark.^[16] insan kadavra dizi ve emilebilir vida kullanarak, tibial tünelin 1/3 alt kısım, 1/3 orta kısım ve 1/3 üst kısmına yapılan tespitlerde vida ilerleme torkunu karşılaştırmışlar; fakat, yer değiştirme, sertlik ve tespit kuvveti gibi biyomekanik parametreleri değerlendirmemişlerdir. Çalışmalarındaki 1/3 alt kısım, çalışmamızdaki anatomik olmayan tespite; 1/3 üst kısım ise anatomik tespite eşdeğerdir. İki çalışma arasında ilerleme torku yönünden belirgin farklılık vardır. Tünel 1/3 alt kısımdaki ve 1/3 üst kısımdaki vida ilerleme torkunu anlamlı derecede farklı (sırasıyla 8.7 Nm ve 4.3 Nm) bulmuşlardır. Çalışmamızda ise, her iki bölge vida ilerleme torkları birbirine yakın bulundu ve aradaki fark anlamlı değildi. Anılan çalışmada, tünel çapı greft çapından 2 mm küçük oyulmuş, genişleticilerle greft çapına eşitlenmiş ve aynı çapta emilebilir vida kullanılmıştır. Tibial 1/3 üst kısım tespitlerinde vidanın aldığı yol daha uzundur; dolayısıyla, vida yivlerinde oluşacak aşınma da fazla olacaktır. Bu nedenle, 1/3 üst ya da anatomik seviyede tespit, vidada daha fazla

aşınma oluşturarak vida ilerleme torkunda azalmaya yol açabileceği kanısındayız. Kemik mineral yoğunluğunun ölçülmemesi ve grupların hangi parametreye göre ayrıldığının belirtilmemiş olması, adı geçen çalışmanın zayıf noktalarıdır. İki çalışmadaki sonuçların paralellik göstermemesini, anılan çalışmadan farklı olarak çalışmamızda her iki grubun kemik mineral yoğunluğunun birbirine çok benzer olmasına ve yumuşak doku interferans vidası kullanmamıza bağlıyoruz.

Kemik mineral yoğunluğunun greft-vida tespitinde sonuçlar üzerine etkisi büyüktür. Bunun standart olmaması durumunda, diğer değişkenlerin tespit üzerine etkisini araştıramayız. Bu nedenle, çalışmaya başlamadan önce, incelenecek bütün kemiklerin kemik mineral yoğunluğunu ölçüp, bu değişkenin sonuçlar üzerine olan etkisini ortadan kaldırdık.

Çalışmamızda, daha kolay bulunabilmesi ve kemik kalitesinin insan kemik kalitesine benzemesi nedeniyle dana dizi kullanıldı. Shapiro ve ark.^[17] dana kemiğinin biyomekanik çalışmalarda insan kemiğine çok benzediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, genç erişkin insan kemiği ile dana kemiği arasında önemli fark olmadığı bildirilmiştir.^[12,18] Greft olarak dana ekstansör digitorum süperfisialis tendonları kullanıldı. Kadavra tendonlarına göre kolay bulunabilmesi ve insan semitendinoz-grasilis tendonlarına uygulanan yüksek kuvvete karşı benzer sertlik ve viskoelastik davranış göstermesi^[18,19] nedeniyle tercih edildi. Tibial tünel hazırlanmasında genişletme yöntemini kullandık, böylece, kansellöz kemiğin yoğunluğunu artırarak tespit kuvvetini artırmak istedik.

Çalışmada kullanılan tekrarlayıcı yüklenme testi, ameliyat sonrası dönemdeki rehabilitasyon programı etkisine benzediğinden, bu testin sonuçları ortopedi cerrahına daha fazla yol gösterici olmaktadır. Tekrarlayıcı yüklenme testi süresince, vida tespit seviyesinin sertlik ve yer değiştirme üzerine etkisi olmadığını saptadık. Buradan çıkarımla, Ishibashi ve ark.^[14] önerdiği anatomik seviyede tespit, ikinci değişken olan greftin boyunu kısaltarak greftin sertliğini artırmak yoluyla daha stabil bir diz elde edilebileceğini düşünüyoruz.

Teşekkür

Kemik mineral yoğunluğu ölçümlerini yapan radyoloji teknisyeni Ayşe Öztürk ve bu makalenin yazımında yardımlarını esirgemeyen Uzm. Dr. Erol Erdoğan’a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Brown CH Jr, Steiner ME, Carson EW. The use of hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. Technique and results. *Clin Sports Med* 1993;12:723-56.
2. Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K. Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med* 1995;23:706-14.
3. Hoffmann RF, Peine R, Bail HJ, Sudkamp NP, Weiler A. Initial fixation strength of modified patellar tendon grafts for anatomic fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1999;15:392-9.
4. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P. Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1994;22:211-7.
5. Magen HE, Howell SM, Hull ML. Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts. *Am J Sports Med* 1999;27:35-43.
6. Kocabey Y, Nawab A, Caborn DN, Nyland J. Endopearl augmentation of bioabsorbable interference screw fixation of a soft tissue tendon graft in a tibial tunnel. *Arthroscopy* 2004;20:658-61.
7. Scheffler SU, Sudkamp NP, Gockenjan A, Hoffmann RF, Weiler A. Biomechanical comparison of hamstring and patellar tendon graft anterior cruciate ligament reconstruction techniques: The impact of fixation level and fixation method under cyclic loading. *Arthroscopy* 2002;18:304-15.
8. Weiler A, Richter M, Schmidmaier G, Kandziora F, Sudkamp NP. The EndoPearl device increases fixation strength and eliminates construct slippage of hamstring tendon grafts with interference screw fixation. *Arthroscopy* 2001;17:353-9.
9. Howell SM, Wallace MP, Hull ML, Deutsch ML. Evaluation of the single-incision arthroscopic technique for anterior cruciate ligament replacement. A study of tibial tunnel placement, intraoperative graft tension, and stability. *Am J Sports Med* 1999;27:284-93.
10. Selby JB, Johnson DL, Hester P, Caborn DN. Effect of screw length on bioabsorbable interference screw fixation in a tibial bone tunnel. *Am J Sports Med* 2001;29:614-9.
11. Nyland J, Kocabey Y, Caborn DN. Insertion torque pullout strength relationship of soft tissue tendon graft tibia tunnel fixation with a bioabsorbable interference screw. *Arthroscopy* 2004;20:379-84.
12. Weiler A, Hoffmann RF, Siepe CJ, Kolbeck SF, Sudkamp NP. The influence of screw geometry on hamstring tendon interference fit fixation. *Am J Sports Med* 2000;28:356-9.
13. Fineberg MS, Zarins B, Sherman OH. Practical considerations in anterior cruciate ligament replacement surgery. *Arthroscopy* 2000;16:715-24.
14. Ishibashi Y, Rudy TW, Livesay GA, Stone JD, Fu FH, Woo SL. The effect of anterior cruciate ligament graft fixation site at the tibia on knee stability: evaluation using a robotic testing system. *Arthroscopy* 1997;13:177-82.
15. Morgan CD, Kalmam VR, Grawl DM. Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited. *Arthroscopy* 1995;11:647-59.
16. Phillips BB, Cain EL, Dlabach JA, Azar FM. Correlation of interference screw insertion torque with depth of placement in the tibial tunnel using a quadrupled semitendinosus-gracilis graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2004;20:1026-9.
17. Shapiro JD, Jackson DW, Aberman HM, Lee TQ, Simon TM. Comparison of pullout strength for seven- and nine-millimeter diameter interference screw size as used in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1995;11:596-9.
18. Giurea M, Zorilla P, Amis AA, Aichroth P. Comparative pull-out and cyclic-loading strength tests of anchorage of hamstring tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1999;27:621-5.
19. Ferretti A, Conteduca F, Labianca L, Monaco E, De Carli A. Evolgate fixation of doubled flexor graft in anterior cruciate ligament reconstruction: biomechanical evaluation with cyclic loading. *Am J Sports Med* 2005;33:574-82.